Известия АН Армянской ССР, Науки о Земле, 6, 56—65, 1976

УДК 551.49+546.291.(479.25.24.)

Э. С. МАТВЕЕВА, А. В. САРНОВСКИЙ

ГЕЛИЙ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ МАЛОГО КАВКАЗА

Сведения о гелиеносности подземных вод Малого Кавказа, полученные нами в 1971—73 гг., позволили наметить основные закономерности распределения гелия в регионе проявления альпийской складчатости в условиях горного рельефа с широким развитием молодого вулканизма. Некоторые из них были нами опубликованы [2].

Опробованию на гелий и анализу химического состава подвергались воды источников, скважин, подземных горных выработок. Измерение гелия производилось непосредственно в воде с помощью портативного магнито-разрядного индикатора гелия (ИНГЕМ-1), а в газовой фазе—на масс-спектрометре ПТИ-7.

В результате выполненных исследований был определен геохимический фон гелия подземных вод, газово-гидрохимическая специализация зон тектонических нарушений, гелиеносность рудоконтролирующих структур и минеральных вод.

Геохимический фон гелия подземных вод

Формирование фоновых концентраций гелия в подземных водах определяется многими факторами, основные из которых следующие: содержание урана и тория в водовмещающих породах, возраст воды и пород; тектоническое строение района, определяющее степень проницаемости пород; литологический состав и мощность водовмещающих и перекрывающих их толщ; глубина залегания и удаленность водовмещающего комплекса от фундамента; динамика подземных вод и их насыщенность другими газами.

Геохимический фон гелия определялся для основных формационных структур, а в их пределах—для пяти районов, характеризующихся различными ландшафтными и гидрогеологическими условиями (табл. 1).

Распределение гелия в подземных водах подчиняется логнормальному закону. За величину фона ($C_ф$) принято модальное значение накопленной частости. При определении геохимического фона было использовано более тысячи анализов. Результаты их обработки приведены в таблице 1.

Наиболее низким геохимическим фоном гелия ($0{,}6 \cdot 10^{-4}$ *см³/л*) обладают воды, циркулирующие в сланцах, песчаниках, мергелях юрской геосинклинали, потоки вод в неоген-четвертичных лавах андезито-базальтового состава Гегамского и восточного склона Арагацкого нагорий, воды осадочно-вулканогенных образований мела юго-восточного Присеванья. Все эти водовмещающие комплексы имеют низкую радио-

Таблица 1

Геохимический фон гелия в подземных водах Малого Кавказа

Формация и возраст водовмещающих пород	Памбак	Айоцдзор	Нахичевань	Зангезур	Присеванье
Фундамент и доальпийский платформенный чехол $PR—E$, $D_2—C_1$, P_1T_1	0,76 / 24	0,8 / 12	— / —	1,25 / 36	— / —
Юрская геосинклиналь J_{2-3}	— / —	— / —	— / —	0,6 / 19	— / —
Альпийская складчато-глыбовая область K, Pg, N	1,3 / 61	0,9 / 459	1,4 / 192	0,9 / 97	0,63 / 62
Неотектонический чехол лавы $N_2—Q$	— / —	0,9 / 60	0,75 / 127	0,76 / 29	0,6 / 63
Озерно-ледниковые отложения Q	— / —	1,1 / 13	0,75 / 19	— / —	0,68 / 17

Примечание: в числителе—фон гелия 10 $см^3/л$—Сф, в знаменателе—количество проб.

активность. Самый высокий фон гелия отмечен в водах туфогенной толщи олигоцена—нижнего миоцена и андезито-дацитового комплекса Нахичеванского района, характеризующихся увеличением концентрации радиоактивных элементов по отношению к кларку. Повышенная радиоактивность пород, особенности ландшафтно-климатических условий этой территории обеспечили накопление гелия в подземных водах.

Установлена зависимость геохимического фона гелия от суммарной радиоактивности водовмещающих пород. Как показано, на рис. 1, в

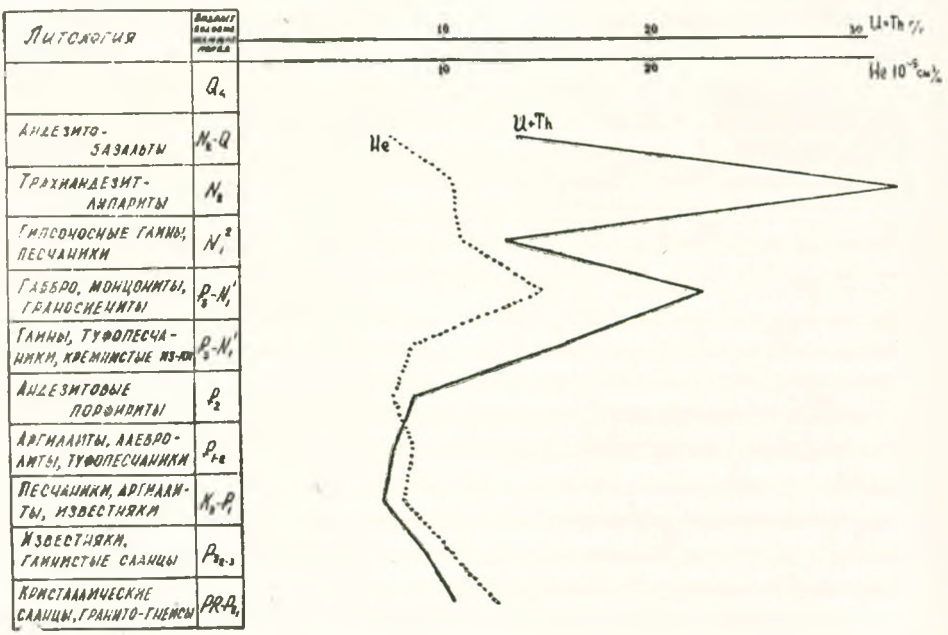

Рис. 1. График сопоставления фоновых концентраций гелия в подземных водах и содержаний радиоактивных элементов в водовмещающих комплексах Малого Кавказа.

средней части геологического разреза (Pg_2—N_1) в системе газ—вода—порода установилось динамическое равновесие. Здесь видна прямая зависимость содержаний гелия в воде от кларков урана и тория в породе.

В образованиях кристаллического фундамента количество гелия в водах повышается при невысоком кларке радиоактивных элементов. Это обусловлено накоплением гелия за время существования этих древнейших пород региона, перекрытых толщей более молодых образований. В самых молодых породах—плиоценовых и четвертичных—фон гелия в воде ниже, чем можно было ожидать при высокой радиоактивности пород. Однако он остается достаточно высоким по сравнению с водами других комплексов. Самые радиоактивные породы района—трахилипарит-андезиты—слагают верхние части гор в Айоцдзорском районе. Малая мощность их и интенсивная циркуляция заключенных в них вод обусловили отставание содержаний гелия в воде от радиоактивности пород.

Гелиеносность зон тектонических нарушений

С целью изучения глубоких горизонтов земной коры были обследованы воды и газы, заключенные в тектонических разломах различных порядков.

Наряду с характеристикой гелиеносности структур по простиранию особое внимание обращалось на минеральные воды, месторождения и рудопроявления твердых полезных ископаемых, генетически связанных с этими структурами. Ниже рассматривается гелиеносность тектонических разломов в целом, минеральных вод, рудоконтролирующих структур различных полезных ископаемых.

а. Гелиеносность тектонических разломов

На территории южного склона и центральной части Малого Кавказа обследовано 20 тектонических разломов различных порядков. Региональные структуры изучались на отдельных участках, а разломы высоких порядков—на всем их протяжении.

Воды, заключенные в тектонических разломах и выходящие на поверхность в виде источников, характеризуются невысокой гелиеносностью. Однако и здесь удалось классифицировать разломы на гелиеносные и с повышенной и фоновой гелиеносностью (табл. 2). К первому типу отнесены тектонические разломы, в пределах которых среднее содержание гелия в три и более раза превышает местный геохимический фон. В структурах с повышенной гелиеносностью содержание гелия в воде в 1,5—3 раза превышает фон водовмещающих комплексов, питающих этот разлом. Структуры с фоновой концентрацией гелия не выделяются в поле развития слабогелиеносных водоносных горизонтов.

На основании полученного фактического материала не удалось установить связи между категорией разломов и их гелиеносностью. Глу-

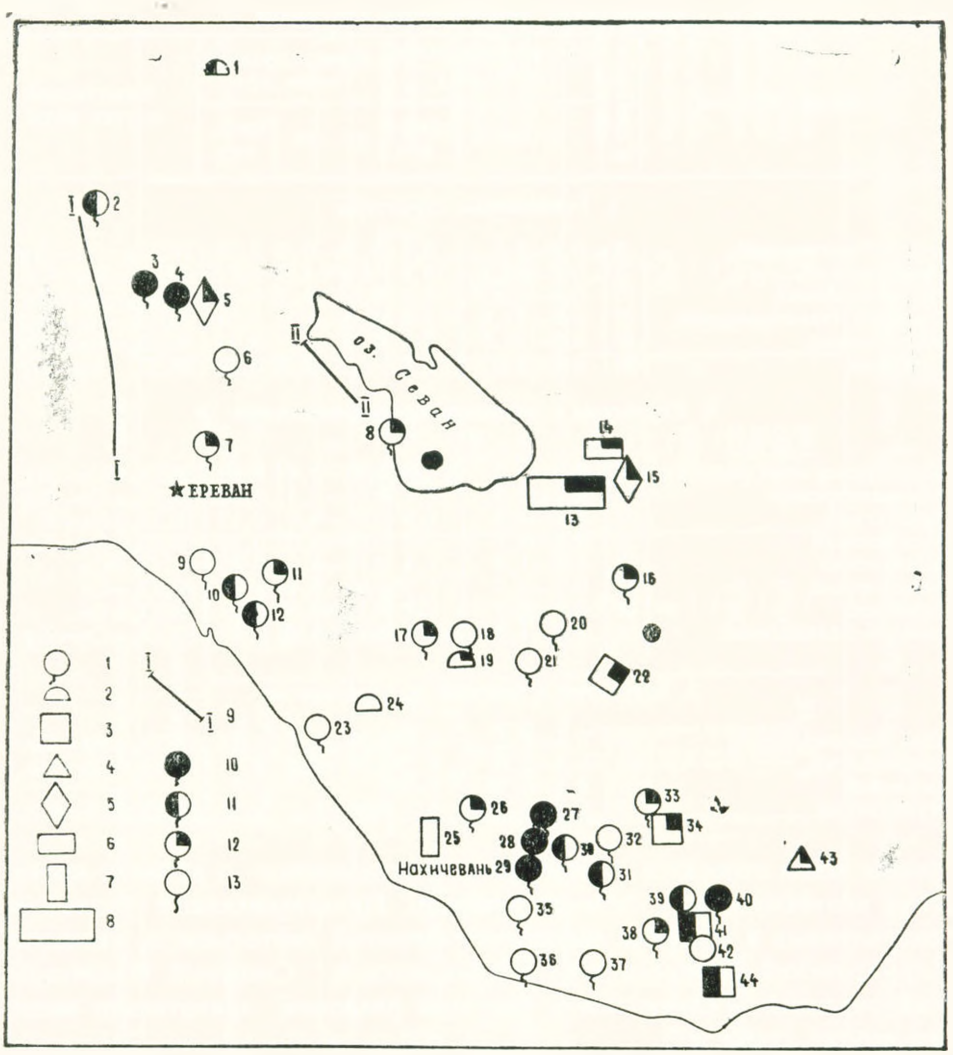

Рис 2. Гелиеносность подземных вод на объектах Малого Кавказа. 1—7—месторождения (1—минеральных вод, 2—полиметаллов, 3—медно-молибденовые, 4—медно-колчеданные, 5—золота, 6—ртути, 7—каменной соли), 8—площади, опробованные на гелий, 9—площади и профили водно-гелиевого опробования по лавам андезито-базальтов, 10—13—содержание гелия в подземных водах в 10^{-4} *см*^{3}/*л* (10—больше 20, 11—от 10 до 20, 12—от 1 до 10, 13—меньше 1).

бинные долгоживущие разломы, как правило, обладают низкой гелиеносностью, т. к. они часто залечены в результате проявления позднейших магматических и гидротермальных процессов. Связанные с ними гелиевые аномалии низкоконтрастны. К таким разломам относятся Хуступ-Гиратахский, Зангезурская зона разломов и др. Молодые разломы или древние, но подновленные позднейшими подвижками, обладают наибольшей флюидопроводимостью, т. е. создаются условия для миграции воды и газов с больших глубин к дневной поверхности. Это

Таблица 2

Гелиеносность тектонических нарушений

Название разлома	К-во проб	Содержание гелия 10^{-4} $см^3/л$		Минерализация воды, $г/л$		Химический состав воды
		от—до	среднее	от—до	среднее	
1. Гелиеносные структуры						
Хуступ-Гиратахский	8	0,9—6,0	3,1	0.16—0,4	0,28	HCO_3—Ca—Mg
Мармарикский	7	0,6—31,4	15,9	5,4—8,8	6,7	HCO_3—Na—Ca
Алинджачайский	12	0,3—8,4	2,5	0,07—0,3	0,14	HCO_3—Ca—Na
Северный Нахичеванский	47	0,6—23,8	2,5	0,2—31,0	3,54	HCO_3—Na—Mg
Дебаклинский	42	0,6—18,5	2,5	0,07—0,3	0,14	HCO_3—Ca—Mg
Гехинский	24	0,6—9,0	2,4	0,2—8,9	0,29	HCO_3—Na—Mg
2. Структуры с повышенной гелиеносностью						
Зангезурская зона разломов	94	0,1—4,5	1,1	0,06—2,4	0,35	HCO_3—Ca—Mg
Агаракадзорский	76	0,1—6,0	1,1	0,05—2,4	0,62	HCO_3—Ca—Mg
Улашикский	22	0,7—4,5	1,8	0,07—0,8	0,13	HCO_3—Na+K
Варданесский	25	0,6—3,7	1,3	0,06—0,17	0,12	HCO_3—Na—Ca
Кадрлинский	12	0,6—1,8	1,4	0,14—0,3	0,25	HCO_3—Ca
Сачанлинский	37	0,6—3,7	1,25	0,06—0,1	0,12	HCO_3—Ca
Элпинский	44	0,6—6,6	1,2	0,1—0,5	0,21	HCO_3—Ca
Анкаван-Далидагский	15	0,6—1,9	1,4	0,5—0,15	0,32	HCO_3—Ca—Mg
3. Структуры с фоновой гелиеносностью						
Ветвь Базарчайского	38	0,1—2,5	0,93	0,05—0,3	0,11	HCO_3—Na—Ca
Базарчайский	23	0,6—1,8	0,77	0,06—0,15	0,1	HCO_3—Ca—Na
Арпинский	21	0,6—1,25	0,83	—	—	—
Амулсарский	17	0,3—1,0	0,6	0,03—0,2	0,12	HCO_3—Cl—SO_4

прежде всего относится к разломам, находящимся в районах проявления неотектоники и сейсмотектоники. Представителями разломов, подновленных в процессе сейсмотектонической деятельности, являются Мармарикский (Анкаванский), Дебаклинский, Северный Нахичеванский разломы. Гелиеносность вод этих разломов значительно выше, чем других (табл. 2).

6. Гелиеносность минеральных вод

Химический состав минеральных вод южного склона и центральной части Малого Кавказа очень пестрый—от гидрокарбонатно-кальциевых до хлоридно-натриевых. Установлено, что гелиеносность минеральных вод района не зависит от их химического состава, а определяется глубиной заложения и степенью раскрытости тектонических структур.

Минеральные воды Закавказья обладают невысокой гелиеносностью, но все же появилась возможность классифицировать их по степени гелиеносности на четыре группы (табл. 3, рис. 2).

Как следует из таблицы, большая часть минеральных вод и связанных с ними спонтанных газов Закавказья имеет низкую и повышен-

Таблица 3

Гелиеносность углекислых минеральных вод Малого Кавказа

Гелиеносность, содержание He 10^{-4} $см^3/л$	№ на схеме (рис. 2)	Местоположение	Содержание He		He^3/He^4 10^{-8} от—до	M $г/л$	Химический тип воды*
			в воде 10^{-4} $см^3/л$ от—до	в спонтанном газе 10^{-4} %			
1	2	3	4	5	6	7	8
Высокая > 20	3	Анкаван (8 проб)	22—31	11,8	620—970	5,5- 8,0	анкаванский
	4	Улашик (3 пробы)	1—30,6	—	410—500	0,1—5,0	анкаванский
	40	Долина р. Охчи в р-не Каджарана (3 скв.)	38—114	65—162	180—240	1,6—3	джермукский
	29	Р-н с. Хачапарах (скв.)	76	—	120	37,8	ессентукский
	28	Сираб (ист.)	23,8	—	—	12,7	боржомский
	27	Село Сурамелик (2 скв.)	6—43	62	110	2,6	боржомский
Средняя 11—20	2	Джрашел (ист.)	11,3	—	410	1,4	араратский
	1	Шамлуг (2 скв.)	8—16	—	—	2,9	джермукский
	10	Азатаван (скв.)	13,8	—	—	—	—
	28	Сираб, скв. завода мин. вод	16,2	5	—	2,3	боржомский
	12	Арарат (скв.)	10,1	—	240	—	араратский
	44	Агарак (скв.)	11,0	—	—	—	—
	39	Каджаран, мин. источник	10,2	10,5	130	0,2	анкаванский
	41	Каджаран, скв.	18,5	—	230	2,0	джермукский
	30	Родник „Нагих"	12,0	10,0	230	7,1	ессентукский
	31	Бойахмед (ист.)	0,7—16	—	140	3,2	нарзанный

* Классификация минеральных вод по их химическому составу принята для Армении по [3], для Нахичеванской АССР—по [1].

1	2	3	4	5	6	7	8
Повышенная 1—10	38	С. Пармара (скв.)	3,0	—	—	1,5	боржомский
	7	Арзни (скв.)	—	12,5	520	5,8	арзнинский
	12	Ст. Арарат (ист.)	4,2	—	—	—	—
	34	Дастакерт (3 скв.)	7,5—10	—	—	1,4—1,9	джермукский
	17	Агаракадзор	—	11,1	—	2,4	
	16	Истису Кельбаджарского р-на — (2 скв.)	6,0—6,6	—	—	8,6	араратский нарзанный
	16	Там же (3 ист.)	2,2—2,6	—	140	7,8	нарзанный
	33	Кизил-Шафак	6,6	—	—	—	—
	27	Нагаджир (скв.)	1,1	15—25	85	8,1	ессентукский
	28	Сираб (ист.)	4,0	2,8	290	2,5	нарзанный
	28	Сираб, СЗ 3 *км* (скв.)	1,75	—	—	12,0	боржомский
	11	Веди, м-ние мин. вод	1,15	—	—	—	—
	26	Бадамлы, завод мин. вод	2,9	—	—	0,81	ессентукский
	33	Софлу (4 скв.)	5,6—6,0	74,5	140	2,5	джермукский
	8	Кармир-Гюх, Гюмюрские источники	4,5	—	—	2,4	нарзанный
Низкая < 1	32	Лятекач (скв.)	0,6	—	250	2,7	нарзанный
	21	Гидеваз	0,77	—	—	5,4	анкаванский
	18	Азизбеков (скв.)	0,6	—	—	—	—
	6	Бжни (скв.)	0,6	6,0	160	1,9	анкаванский
	9	Арташат (скв.)	0,6	—	—	—	—
	11	Долина р. Ведичай, скв. № 11	0,6	—	—	3,7	араратский
	11	Там же (ист.)	0,6	—	600	—	—
	23	С. Норашен	0·6	—	—	—	—
	42	С. Таштун, С 2 *км*	0,5—1,0	—	140	4—5,6	анкаванский
	20	Джермук (5 скв.)	0,7—1,5	—	360—510	4,5—6,0	джермукский
	28	Сираб, мышьяковистый источник	—	8,0	150	9,1	ессентукский
	28	Там же, источник	0,5	—	110	6,0	боржомский
	37	Дарыдаг (скв.)	0,6	7,8	250	18,2	ессентукский
	35	Аразин (ист.)	0,62	—	—	27,7	ессентукский
	36	Р. Алиджачай, устье	0,75	—	130	0,95	ессентукский

ную гелиенасыщенность. Минеральные воды с высокой гелиеносностью заключены в зонах Мармарикского, Улашикского, Северного Нахичеванского и Дебаклинского разломов. Так на курорте Анкаван и месторождении минеральных вод Улашик в зоне Мармарикского разлома содержание гелия в воде равно $31 \cdot 10^{-4}$ *см³/л*, а в спонтанном газе—$12 \cdot 10^{-4}$ % объем. Более высокая гелиеносность минеральных вод отмечена в зоне сопряжения Дебаклинского и Охчинского разломов. Здесь, вблизи Каджарана, содержание гелия в воде достигает $114 \cdot 10^{-4}$ *см³/л*, а концентрация его в спонтанном газе—$162 \cdot 10^{-4}$ % объема. В районе села Хачанарах в сильно минерализованных водах Северного Нахичеванского разлома содержание гелия равно $76 \cdot 10^{-4}$ *см³/л*.

Как видно из таблицы 3, изотопные отношения гелия в минеральных водах Малого Кавказа, как правило, превышают $140 \cdot 10^{-8}$, т. е выше, чем в атмосфере. Ряд авторов [3, 4] указывает, что мантийному гелию, состоящему из смеси «первозданного» с отношением He^3/He^4—$3 \cdot 10^{-4}$ и радиогенного гелия с отношением—$n \cdot 10^{-9}$, характерны значения He^3/He^4—$(2—4) \cdot 10^{-5}$. Исходя из этого, Якуцени В. П. и др. [5] указывают, что высокие отношения легкого и тяжелого изотопов гелия больше $n \cdot 10^{-6}$ в составе газов, поступающих из глубоких недр, могут рассматриваться как показатель их связи с подкоровыми глубинами Земли. Следовательно, можно считать, что в формировании газового состава минеральных вод Малого Кавказа принимают участие глубинные газы, а структуры, с которыми они связаны, достигают подкоровых горизонтов. В первую очередь это можно сказать, о водах месторождений Анкаван, Улашик, Джрашен, Джермук, Арзни, Ведиской группы источников.

в. Гелиеносность рудоконтролирующих структур

При изучении гелиеносности рудоконтролирующих структур исследовались воды рудопроявлений и месторождений медно-молибденовой формаций, а также месторождений полиметаллов, золота, ртути, соленого источника на месторождении каменной соли.

Список обследованных объектов и гелиеносность вод горных выработок и скважин приведены в таблице 4.

Трещинно-жильные воды рудоконтролирующих структур имеют низкую концентрацию гелия. Наиболее высокая гелиеносность отмечена на полиметаллическом месторождении Шамлуг, где подземным бурением вскрыты углекислые минеральные воды и на Каджаранском медно-молибденовом месторождении. Здесь рудный процесс связан с зоной Дебаклинского разлома, как и на месторождениях Агарак и Дастакерт.

Как видно из таблицы 4, воды этих месторождений, а также минеральные воды в долине реки Охчи, приуроченные к этой же зоне разлома, имеют повышенную гелиенасыщенность. Другая картина наблюдается в зоне Мармарикского разлома. С Центральным разломом этой сложной тектонической структуры связано Меградзорское место-

Таблица 4

Гелиеносность подземных вод на месторождениях и рудопроявлениях Малого Кавказа

№ по схеме рис. 2	Наименование объекта	Число водопунктов	Максимальное содержание растворенного гелия $n \cdot 10^{-4}$ *см³/л*
Полиметаллические месторождения			
1	Шамлуг	5	16
19	Азатек	6	3,4
24	Гюмушлуг	4	0,8
Медно-молибденовые месторождения			
41	Каджаран	23	18,5
44	Агарак	3	5,1
34	Дастакерт	28	9,8
Медноколчеданные месторождения			
43	Кафан	7	5,9
Месторождения золота			
5	Меградзор	6	4,0
15	Зод	5	1,5
Рудопроявления ртути			
14	Сараланч	4	1,5
Месторождения каменной соли			
25	Соль-Иран	1	1,5
Площади, перекрытые лавами андезито-базальтов			
13	Басаргечар	122	2,5
22	Базарчай	32	1,8
I—I	Арагацкое нагорье	6	1,5
II—II	Гегамское нагорье	5	1,1

рождение золота. Рудоконтролирующая структура опробована на 300 *м* по падению. Какой-либо разницы в гелиеносности вод и рудничного газа установить не удалось, на всем опробованном интервале она низкая. Однако, как указывалось выше, на курорте Анкаван и на месторождении минеральных вод Улашик углекислые воды и спонтанные газы в зоне Мармарикского разлома обогащены гелием. Это еще раз подтверждает, что гелиеносность тектонических разломов изменяется по простиранию и определяется степенью их раскрытости. Несмотря на то, что гелиеносность трещинно-жильных вод рудоконтролирующих структур на территории Закавказья низкая, все же на общем фоне молодые эндогенные месторождения твердых полезных ископаемых выделяются аномалиями гелия с контрастностью от 2 до 10.

Выводы

1. Геохимический фон гелия подземных вод Малого Кавказа варьирует в пределах $(0{,}6-1{,}4) \cdot 10^{-4}$ *см³/л*. Основными факторами, опреде-

ляющими формирование фона гелия, являются возраст водовмещающих комплексов, их радиоактивность и гидродинамические условия района.

2. Трещинно-жильные воды молодых разломов или древних, но подновленных позднейшими подвижками, в том числе и рудоконтролирующих, имеют повышенную гелиеносность—аномалии, связанные с ними, в 2—20 раз превышают фон. Глубинные долгоживущие, залеченные позднейшими магматическими и гидротермальными процессами разломы, обладают низкой гелиеносностью.

3. Изотопный состав гелия свидетельствует об участии мантийного гелия в формировании газового состава минеральных вод в сейсмоактивных областях Малого Кавказа. Это дает основание предположить, что наиболее флюидопроводящие участки разломов достигают подкоровых горизонтов.

ВНИГ, г. Ленинград Поступила 9.X.1975.

Է. Ս. ՄԱՏՎԵՆԿԱ, Ս. Վ. ՍԱՌՆՈՎՍԿԻ

ՀԵԼԻՈՒՄԸ ՓՈՔՐ ԿՈՎԿԱՍԻ ՍՏՈՐԵՐԿՐՅԱ ՋՐԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Մեծածավալ փաստացի նյութի հիման վրա հոդվածում քննարկված է Հայկական ՍՍՀ և Նախիջևանի ԱՍՍՀ ստորերկրյա ջրերի հելիումաբերությունը։

Ստորերկրյա ջրերում հելիումի գեոքիմիական ֆոնը տատանվում է (0,6—1,4)·10 սմ³/լ սահմաններում և որոշվում է ջրատար կոմպլեքսների հասակով, նրանց ռադիոակտիվությամբ և շրջանի հիդրոդինամիկ պայմաններով։

Չարգացման ամենաուշ էտապի երկարակյաց հանքավերահսկող տեկտոնական ստրուկտուրաների ճեղքային-երակային ջրերը պարունակում են ֆոնին 2—20 անգամ գերազանցող հելիումի քանակություններ։ Փոքր Կովկասի խորը տեղադրման գոնաներում հելիումի ընդհանուր քանակությունը և նրա իզոտոպային կազմը սպոնտան գազի մեջ ցույց են տալիս հելիումի անջատումը մեծ խորություններից, որոնք, հավանաբար, հասնում են ենթակեղևային հորիզոններին։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авдеева А. Б.* Гидрогеология некоторых месторождений углекислых вод Нахичеванской АССР. Тр. первой Азербайджанской научной сессии, Баку, 1962.
2. *Тафеев Г. П., Матвеева Э. С., Глебовская В. С.* Использование гелиевого метода для выявления раскрытых тектонических нарушений глубокого заложения. Сб. «Вопросы рудной геофизики», вып. 19, 1972.
3. *Тер-Мартиросян А. А.* Минеральные воды Армянской ССР. Тезисы докл. на республиканской конференции по изучению и использованию природных лечебных ресурсов АССР. Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1959.
4. *Толстихин И. Н., Мамырин Б. А., Каменский И. Л.* и др. Распределение изотопов гелия в верхних оболочках Земли. В кн. «Пятый Всесоюзный симпозиум по геохимии стабильных изотопов». Тезисы докл., ч. 2, АН СССР, ГЕОХИ, М., 1974.
5. *Якуцени В. П., Каменский И. Л., Мамырин Б. А., Ануфриев С. Г., Толстихин И. Н.* Изотопы гелия в природе. «Геохимия», № 8, 1971.